Напреенко Владислав Георгиевич
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник сектора мониторинга
состояния и тенденций развития организаций
сферы науки и инноваций РИЭПП.
(495) 917-86-66,
info@riep.ru

ПЛАНИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ СЛОЖНЫМИ НАУЧНЫМИ И ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИМИ РАБОТАМИ В УСЛОВИЯХ НЕПОЛНОТЫ И НЕТОЧНОСТИ ДАННЫХ [1]

Введение

Перспективы российской экономики находятся в сильной зависимости от научной и инновационной деятельности. Без развития науки и основанного на этом развитии инновационного обновления Россию ожидает роль сырьевого придатка других стран. В такой ситуации не будет преувеличением сказать, что от успешного решения задач НИР и НИОКР самым существенным образом зависит судьба нашей страны.

Анализ факторов, влияющих на процесс научных работ и инновационных разработок, позволяет выделить в качестве одного из ключевых условий успеха НИР и НИОКР рациональное планирование и правильное управление научными и опытно-конструкторскими работами. Особенно заметна роль планирования и управления при выполнении сложных работ, требующих согласованных действий большого числа исполнителей. Научно-технический прогресс ведет к росту числа и важности подобных работ и, как следствие, усиливает роль планирования и управления при выполнении НИР и НИОКР.

К сожалению, современная технология планирования и управления НИР и НИОКР остается весьма несовершенной, и это касается не только России, но и других стран. Главная трудность состоит в том, что подобное планирование и управление требует принятия решений в условиях неполноты и неточности данных. Например, при осуществлении инновационных работ нет возможности точно предвидеть такие важные для оценки эффекта работы факторы, как инфляция, ценовые пропорции, спрос, появление конкурирующих предложений. Более того, нет невозможности точно предвидеть ход и результаты самих работ (последнее особенно касается работ поисковых, природа которых предполагает неполную предсказуемость результатов).

Неполнота и неточность данных в сильной степени провоцирует многочисленные ошибки планирования и управления работами, что вы-

[1] Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда, грант № 09-02-00487а

ражается в больших финансовых потерях, затягивании сроков, неудачном выборе соисполнителей и т. п.

Родственные проблемы планирования и управления в условиях неполноты и неточности данных существуют и в других сферах экономики.

Все сказанное сделало актуальным создание – на примерах сложных поисковых НИР и НИОКР – нетрадиционного инструментария планирования и управления, сохраняющего работоспособность в условиях неполноты и неточности данных. Инструментарий позволяет при планировании и управлении легко оценивать полноту, непротиворечивость и ценность рассматриваемой информации и дает возможность оперировать со всей областью возможных плановых и управленческих решений, а не с отдельными вариантами решений (последнее устраняет возможность упустить из виду важный, но неочевидный вариант решения). Инструментарий прошел проверку на достаточно большом числе примеров и показал свою полную работоспособность.

Общая характеристика предлагаемого подхода

Самым слабым местом традиционной технологии планирования и управления НИР и НИОКР является стремление использовать однозначные планы работ. Почти любой такой план начинает устаревать уже в момент его написания. По мере поступления информации о ходе работ однозначный план приходится многократно уточнять и перестраивать, но уточненный план снова устаревает – и так без конца. Поэтому мы рекомендуем отказаться от однозначного плана работ в пользу плана интервального. Если при обычном планировании сроки работ, расходуемые средства и другие показатели выражаются точными числами, то в интервальном плане – это интервалы чисел «от… до...». Предлагается использовать интервальные обобщенные планы, охватывающие все возможные планы, совместимые с рассматриваемыми условиями плановой или управленческой задачи.

Интервальность обобщенного плана хорошо согласуется с неточностью данных. Дело в том, что неточные данные нельзя адекватно представить точными числами; адекватными можно считать лишь представления, учитывающие возможную неточность. Среди таких представлений – интервальные оценки.

При неполноте данных отсутствующие значения показателей можно толковать как очень широкие интервалы, причем границы этих интервалов во многих случаях могут легко уточняться на основе уже известных данных. Например, если мы знаем, что все затраты на какую-то работу составили 30 млн руб, но не знаем точно, какая часть этих средств была перечислена в бюджет в качестве налогов, мы тем не менее можем утверждать, что в бюджет поступило не менее 0 и не более 30 млн руб. Разница между утверждением «поступления в бюджет неизвестны» и утверждением «поступления в бюджет составляют не менее 0 и не более 30 млн руб» заключается в том, что показатели плановой (либо управ-

ленческой) задачи связаны друг с другом и при помощи учета этих связей почти каждая интервальная оценка показателя, даже очень грубая, может быть либо еще раз уточнена, либо использована для уточнения других интервальных оценок.

Взаимное уточнение большого числа интервальных оценок показателей, связанных друг с другом очевидными условиями суммы, разности и пр., трудно, однако, осуществлять без специальных вычислительных средств. В качестве такого средства мы предлагаем использовать аппарат недоопределенных вычислений [1, 2]. Этот аппарат (Н-вычисления, Н-модели) представляет собой оригинальную отечественную разновидность программирования в ограничениях (constraint programming).

В отличие от подходов, моделирующих недоопределенность случайностью, Н-вычисления не требуют введения в расчет допущений, касающихся вероятностного распределения значений рассматриваемых величин. В результате устраняется возможность таких ошибок планирования и управления, которые возникают при неудачном выборе законов распределения.

Кроме того, при использовании Н-вычислений:

- устраняется необходимость задавать алгоритм расчетов, что упрощает процесс планирования и управления;
- обобщенный план автоматически уточняется по мере поступления новой информации;
- для описания условий плановой либо управленческой задачи позволительно использовать весьма «трудные» виды математических зависимостей (смеси целочисленных и действительных переменных, логических уравнений, линейных и нелинейных алгебраических уравнений и неравенств);
- очень просто осуществляется работа по определению условий, обеспечивающих достижение тех или иных целей (это обстоятельство является весьма ценным с точки зрения планирования и управления).

Помимо использования интервальных показателей и соответствующих математических средств, предлагаемый подход к планированию и управлению предусматривает широкое применение экспертных оценок. Совмещение объективных вычислений с экспертным оцениванием позволяет сочетать объективный характер расчетных показателей с такими достоинствами экспертных методов, как гибкость, учет плохо формализуемых факторов, возможность формирования «сверток» разнокачественных показателей [3, 4]. Экспертные оценки позволяют дополнить неполные и ненадежные данные информацией, наличие которой в ряде случаев совершенно необходимо.

В целях наиболее эффективного использования экспертных возможностей мы рекомендуем:

- многокритериальное оценивание плановых и управленческих решений;
- упрощение работы экспертов за счет использования современных средств связи (интернет);

- реализацию мер, призванных свести к минимуму негативные последствия возможной тенденциозности отдельных экспертов.

Отметим, что разработанная нами технология предусматривает унификацию и автоматизацию процесса экспертизы, а также обработку результатов экспертизы с использованием Н-вычислений. Последнее дает возможность применять интервальные экспертные оценки.

Важный элемент предлагаемого подхода к планированию или управлению – Н-модель плановой либо управленческой задачи (т. е. модель, отвечающая возможностям Н-вычислений). Отметим, что Н-модели значительно повышают точность, достоверность и обоснованность расчетов в условиях интервальности и обеспечивают успешное решение многих задач, неразрешимых традиционными методами [5].

Модель разработки строится как совокупность переменных и наложенных на эти переменные неупорядоченных математических и логических ограничений (уравнений, неравенств, условий вида «если… то…» и т. п.). Неупорядоченность не мешает использованию Н-вычислений, но существенно упрощает описание задачи, что очень полезно ввиду ее сложности. Неточности данных и факторы, с трудом поддающиеся формализации, учитываются с помощью интервальных оценок («от… до…»), а также уравнений, неравенств и логических условий, содержащих интервальные параметры.

Основными элементами модели разработки являются:

- состав показателей, характеризующих разработку (НИР либо НИОКР) и ее результаты (продолжительность, трудоемкость, стоимость, экспертные оценки по отдельным критериям, сводные оценки и т. п.);
- требования к решению плановой или управленческой задачи, включая финансовые, временные и ресурсные ограничения, касающиеся как разработки в целом, так и отдельных ее элементов;
- связи показателей, характеризующих разработку (последовательность и взаимообусловленность возможных работ; зависимости, увязывающие друг с другом продолжительность, трудоемкость и стоимость выполняемых работ; выражения сводных оценок как функций от других переменных; другие существенные для плановой задачи зависимости).

Такая модель позволяет связать воедино всю используемую информацию – экспертные оценки, статистические данные, расчетные зависимости и т. п. Модель разработки определяет в общем случае бесчисленное множество возможных планов, которые все вместе формируют обобщенный план разработки. Модель дает возможность работать с интервальным планом почти так же просто, как и с обычным «точным» планом.

Таким образом, разработанный инструментарий строится на основе совместного использования современных информационных технологий (Н-вычисления), экспертных методов и экономико-математического моделирования.

Отметим, что существующие средства «точного» планирования не отвечают таким практически важным требованиям, как:

- возможность непрерывного уточнения взаимосвязанных финансовых, ресурсных, календарных и др. показателей плана в процессе его реализации;
- автоматическое определение границ значений показателей, выход за которые исключает достижение заданного результата;
- одновременное рассмотрение множества вариантов плана как единого плана с неточно заданными показателями;
- попеременное использование одного и того же показателя то в качестве задаваемого (исходного), то в качестве выходного.

Подход, предлагаемый нами, отвечает всем этим требованиям [6].

Порядок реализации предлагаемой технологии планирования и управления НИР и НИОКР

Началом работы является структурирование разработки. Оно предполагает представление НИР или ОКР как совокупности отдельных работ, в том числе альтернативных работ, дублирующих друг друга. Работы подразделяются на необходимые и желательные. Невыполнение необходимых работ означает невыполнение разработки в целом. Проведение либо срыв желательных работ влияет на оценку разработки. В процессе выполнения разработки оценка работ «необходимая либо желательная» может меняться. Так, если из двух альтернативных работ одна окончилась неудачей, то вторая из желательной может стать необходимой.

Следующий шаг – анализ доступной информации. Он включает:

- определение сведений, необходимых для оценки отдельных показателей и зависимостей;
- выявление противоречий в данных и установление – по возможности – причин противоречий;
- ранжировку источников данных по надежности;
- итоговую оценку достоверности информации.

Далее определяются показатели и зависимости, включаемые в модель разработки.

Показатели и зависимости удобно подразделить на основные и вспомогательные. С основными должен работать пользователь модели разработки. Вспомогательные обслуживают процесс вычислений.

Основные показатели модели характеризуют условия разработки (например, прогноз инфляции), саму разработку и ее результаты. Например, в качестве основных показателей разработки могут рассматриваться сроки выполнения отдельных работ, прогнозы объемов деятельности, трудоемкость и ресурсоемкость работ, расчетная динамика издержек, требования к размеру инвестиций, ожидаемые прибыль и убытки и др.

В состав основных показателей входят критерии оценки НИР и НИОКР в целом, а также критерии оценки отдельных реализуемых работ. Желательно включать в состав основных показателей также такие, ве-

личина которых позволяет своевременно замечать угрозы благоприятному ходу работ (например, показатели финансовой устойчивости организаций-исполнителей, позволяющие предвидеть их банкротство).

При наличии соответствующих зависимостей (точных либо приближенных) в число основных показателей модели возможно включить технические характеристики разрабатываемого изделия.

Состав вспомогательных показателей в основном диктуется формой зависимостей, которые используются в расчетах. Например, если применяются уравнения регрессии с параметрами, определяемыми в процессе работы модели разработки, то эти параметры оказываются одним из видов вспомогательных показателей.

Важные этапы работы – первичная оценка показателей и их взаимосвязей и последующее согласование полученных оценок.

Первичная оценка показателей и их взаимосвязей основывается на экспертных оценках, статистических данных, теоретических представлениях, а также содержит требования к решению плановой задачи, включая финансовые, временные и ресурсные ограничения, касающиеся как разработки в целом, так и отдельных ее элементов. Сначала для рассматриваемого показателя либо зависимости формируется ориентировочная оценка, которая может быть точной по форме, но сугубо приближенной по сути. Затем такие оценки корректируются с учетом наличной информации, принимая интервальную форму. Например, сначала можно получить грубо ориентировочную оценку моделируемых зависимостей и их параметров исходя из простейшей гипотезы линейной связи показателей. Затем – перейти к интервалам, отражающим поправку на нелинейность. В сложных случаях можно строить ряд взаимодополняюших оценок, уточняющих одна другую. Первичная оценка показателей и их взаимосвязей не обязательно предусматривает поиск решений, учитывающих всю совокупность условий плановой задачи. Сначала определяется решение, отражающее только наиболее важные и легко поддающиеся учету условия. Второстепенные условия можно учесть позже.

Совокупность показателей и зависимостей образует черновую модель разработки. Согласование оценок показателей и зависимостей, выполняемое на уровне моделей отдельных работ и разработки в целом, осуществляется с помощью этой модели. При этом используется фундаментальное свойство Н-моделей – автоматическое уточнение пересекающихся оценок, включенных в модель. При наличии нескольких вариантов первичных оценок согласование устраняет неудачные варианты.

Далее осуществляется оптимизация плана разработки. При использовании интервального плана его оптимизацию целесообразно строить как поиск областей решений, а не одного точного планового решения. Это не означает полного отказа от «классического» понимания оптимальности как экстремума целевой функции при соблюдении заданных ограничений. Особенность лишь в том, что достижение экстремума и выполнение ограничений рассматривается не с позиции точных по форме (и неизбежно приближенных по сути) решений, а с позиции интервальных оценок показателей.

Целесообразно использовать схему оптимизации плана, которую можно назвать схемой уточнения произвольных условий. Эта схема предполагает не только косвенное управление критериями путем изменения исходных показателей, но и прямое задание желаемой величины включенных в модель формализованных критериев и вообще любых показателей. Прямое задание желаемой величины любого показателя модели означает отказ от строгого разделения показателей на исходные и результирующие. Во избежание недоразумений, напомним, что обычное разделение показателей на исходные и результирующие объясняется тем обстоятельством, что результирующие показатели однозначно зависят от исходных, а исходные – в общем случае неоднозначно зависят от результирующих. В рамках Н-моделей неоднозначность перестает быть почти неодолимым препятствием к решению, и именно это позволяет отказаться от строгого разделения показателей на входные и результирующие.

Оптимизация осуществляется как пошаговый интерактивный процесс, в котором производится уточнение интервалов показателей в направлении, улучшающем значения используемых критериев оценки проекта. Пример такого уточнения – корректировка временных лагов с целью минимизации сроков при сохранении необходимых резервов.

Отметим, что при желании оптимизацию можно доводить до точных цифр, но при этом нужно иметь ввиду, что получаемый в этом случае «точный» план является лишь некоторым ориентиром, а для реальной работы удобнее использовать интервальный план, построенный вокруг «точного». «Точные» планы быстро устаревают, в то время как правильно составленный интервальный план только уточняется по мере его выполнения. Поэтому если на очередном шаге оптимизации плана получены точные значения какого-либо показателя, означающие отсутствие резервов, то лучше вернуться на предыдущий шаг.

Окончательный вариант формирования плана – оптимальный вариант. При соблюдении требований к другим критериям оптимальный по времени вариант плана образуется в результате последовательного сжатия общей длительности разработки.

Оптимальный план служит решением плановой задачи. Что же касается задачи управления ходом НИР или НИОКР, то она легко решается путем уточнения (сужения) интервальных показателей плана. При этом необходимо различать:

- сужения, обусловленные фактическим выполнением плана (например, сроки уже выполненных работ в модели плана должны заменяться фактическими их значениями, что ведет к уточнению сроков разработки в целом);
- сужения, отражающие желаемые изменения показателей плана, – чтобы такое сужение найти, достаточно сузить в желаемом направлении интересующие нас ключевые показатели модели, причем выбор ключевых показателей из числа показателей модели ничем не ограничен, т. е. любые показатели модели можно использовать как ключевые.

По мере выполнения плана определяются фактические значения полученных финансовых доходов, осуществленных расходов, поступлений и потребления материальных ресурсов, сроков начала и завершения работ и т. п. В результате ввода в модель этих фактических значений показателей:

- уточняются параметры еще невыполненной части плана (в частности, корректируются начальные и конечные даты неначатых и незаконченных работ в соответствии с календарной датой и текущими данными);
- меняется ширина интервалов прогнозных показателей, причем эти изменения ширины дают наглядную картину как оставшихся резервов, так и неточности знания факторов плановой задачи;
- выявляются угрозы возникновения критических ситуаций – например, обнаруживаются работы, даты начала или окончания которых находятся под угрозой срыва.

Управление ходом работ, осуществляемое на основе «точных» планов, очень часто требует пересмотра плановых показателей. При работе с интервальным планом его пересмотр значительно менее вероятен, поскольку план автоматически адаптируется к уточнениям показателей, возникающим в ходе работ. Тем не менее, нельзя полностью исключить возможность пересмотра плана в ходе работ. Укажем некоторые случаи, когда пересмотр плана может понадобиться:

- изменения в структуре работ, вызванные выявившейся невозможностью либо нецелесообразностью проведения части ранее намеченных работ, а также обнаруженной необходимостью либо целесообразностью выполнения не предусмотренных до этого работ;
- изменения в последовательности работ, включая перестановки работ, обусловленные невозможностью проведения каких-либо работ в ранее намеченные сроки;
- учет условий, в прошлом не принятых во внимание, но оказавшихся существенными в результате проведенных работ;
- изменения в составе показателей и расчетных зависимостей, вызванные изменениями в структуре работ либо составе учитываемых условий.

В процессе управления разработкой может возникать необходимость повторной оптимизации плана работ.

В процессе управления учитываются критерии оценки НИР или НИОКР и контролируется наличие резервов. В части календарного плана резервы задаются интервалами начала и окончания заданий (и разработки в целом), а также интервальными лагами (задержками) между последовательно выполняемыми заданиями. Отсутствие резервов делает план излишне жестким или вообще нереализуемым.

Пример модельного прогноза результатов НИОКР

Одно из достоинств предлагаемых моделей разработки состоит в возможности своевременно прогнозировать результат разработки, уточняя прогноз по мере выполнения НИР или НИОКР. Прогноз может касаться практически любых показателей НИР или НИОКР, включенных в модель разработки – затрат, сроков, технических характеристик разрабатываемых в ходе НИОКР изделий и т. п. Примером может служить следующая таблица.

Таблица. Пример модельного прогноза результатов НИОКР

Период, по которому есть отчетность о ходе работ	Прогноз (П) или факт (Ф) выполнения технических требований	
	По группе показателей 1	По группе показателей 2
до 3 кв 2008 г. включительно	от 82 до 102 % (П)	от 85 до 109 % (П)
до 4 кв 2008 г. включительно	от 86 до 99 % (П)	от 93 до 107 % (П)
до 1 кв 2009 г. включительно	от 87 до 98 % (П)	от 95 до 106 % (П)
до 2 кв 2009 г. включительно	от 90 до 95 % (П)	от 101 до 105 % (П)
до 3 кв 2009 г. включительно	от 92 до 94 % (П)	от 102 до 104 % (П)
до 4 кв 2009 г. включительно	93 % (Ф)	104 % (Ф)

Представленный в таблице прогноз строился по двум группам показателей, характеризующих технические требования к разрабатываемому изделию. Учитывалась возможность как превышения требований (выполнение более 100 %), так и недовыполнения их. Информация о ходе работ поступала ежеквартально. По мере поступления информации интервальные показатели Н-модели разработки автоматически уточнялись. Из таблицы видно, что модель предсказала недовыполнение технических требований по первой группе показателей уже в конце 2008 г. – за год до завершения работ, а также предсказала перевыполнение требований по второй группе показателей во втором квартале 2009 г. – за два квартала до завершения работ.

Заключение

По аналогии с изложенным можно строить решения плановых и управленческих задач во многих сферах экономики, где приходится иметь дело с неполными и неточными данными, – например, там, где требуется планировать деятельность и управлять ею при невозможности точно предсказать ситуацию рынка и поведение конкурентов.

Разумеется, отдельные особенности решений в разных областях экономики не будут совпадать, но общие принципы – интервальный план работ, соединение объективных расчетов с экспертным оцениванием, построение Н-модели работ – окажутся сходными. Результатом использования предлагаемого подхода может стать более гибкое планирование,

легко адаптирующееся к изменениям ситуации, адекватная оценка риска работ, уточненное прогнозирование их результатов, существенная экономия средств.

Литература

1. *Нариньяни А. С.* Метатехнология Н-приложений // Научная сессия МИФИ-2005. Сб. научных трудов. Москва, 2005.
2. Система Н-вычислений Уникальк-5. (Руководство пользователя) / Российский НИИ Искусственного Интеллекта. Москва; Новосибирск, 2007.
3. *Напреенко В. Г.* Методика экономического анализа научно-технических проектов с использованием финансовых показателей и экспертных оценок // Проблемы организационно-экономического механизма научно-технической деятельности в 1996 г. М.: ВНИИ ЭПРАНТ, 1997.
4. *Горский П. В.* Некоторые особенности экспертных опросов в социально-политической области // Труды международной научно-практической конференции «Теория активных систем» М.: ИПУ РАН, 2003.
5. *Напреенко В. Г.* Применение технологии Н-моделей к задачам экономики и финансов // Приложение к журналу «Информационные технологии». 2008. № 6.
6. *Напреенко В. Г., Смирнов Е. П.* Разработка инструментария для планирования и управления сложными поисковыми научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами // Труды МФТИ. 2009. № 2.